

Aus dem Institut für Pflanzenernährung
der Technischen Universität München-Weihenstephan
Vorstand: Prof. Dr. A. Amberger
und der Bayer. Biologischen Versuchsanstalt München
Kom. Vorstand: OChemDir. Dr. K. Offhaus

Eutrophierungsprobleme am Freudensee (Bayer. Wald), einem Badesee mit ländlichem Einzugsgebiet

I. Mitteilung

Von A. Amberger, R. Gutser und A. Hamm

Die Eutrophierung stehender Gewässer schafft nicht nur wasserwirtschaftliche Probleme, sondern bringt auch Probleme hinsichtlich der Bade- und Erholungsfunktion. Seit etwa 25 Jahren nimmt die Eutrophierung der Gewässer in der gesamten zivilisierten Welt erheblich zu; als wesentliche Ursache dieses Prozesses wird die starke Belastung mit Pflanzennährstoffen, insbesondere Phosphat und Stickstoffverbindungen, angenommen.

Im Osten der Gemeinde Hauzenberg im Bayerischen Wald wurde vor ca. 100 Jahren ein künstlicher Badesee angelegt. Dieser Freudensee zeigt seit etwa 1966 zunehmende Eutrophierungserscheinungen. Sie äußern sich in einem starken Aufkommen wasserblütenbildender Cyanophyceen (*Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon flos-aquae* u.a.) sowie Chlorophyceen (*Ankistrodesmus falcatulus*, *Scenedesmus dir.* u.a.). Der für Fremdenverkehr und Naherholung ausgebaute Badesee wurde zeitweilig kaum mehr von Badegästen besucht. Die Gemeinde Hauzenberg hatte sich deshalb an das Bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen gewandt, um den Ursachen der Eutrophierung dieses Badesees nachzugehen und mögliche Abhilfemaßnahmen einzuleiten.

Seit Oktober 1971 führten das Institut für Pflanzenernährung der TU München-Weihenstephan und die Bayerische Biologische Versuchsanstalt gemeinsame Untersuchungen und Erhebungen durch über die möglichen Ursachen der Nährstoffbelastung dieses Sees. Über die bisherigen Ergebnisse soll in dieser bzw. der folgenden Mitteilung berichtet werden.

Das Untersuchungsprogramm gliedert sich in folgende Abschnitte:

1. Topographische, hydrologische und bodenkundliche Voraussetzungen
2. Stickstoff- und Phosphorgehalte bzw. -frachten der Zuflüsse des Freudensees
3. Nährstoffhaushalt des Sees und Seesedimentes
4. Mögliche Ursachen dieser Nährstoffbelastung
5. Erfolg der Maßnahmen zur Verminderung der Eutrophierung

Für die Nährstoffbelastung kommen neben dem natürlichen Austrag von Nährstoffen von landwirtschaftlichen und forstwirtschaftlich genutzten Flächen insbesondere

Freudensee, a small lake for bathing and recreation is located near Hauzenberg in the Bavarian Forest. In recent years this lake has shown symptoms of intense eutrophication. In an extensive programme the N- and P-loads of the tributaries of the Freudensee were determined and their explanation attempted. As far as the N-loads are concerned, there was good correlation between these values, the extent of population and the way of utilization (agriculture or forestry) of the drainage area. The content of P in the surface water was unusually high with no relation between population and way of utilization (average 0.12 ppm phosphorus as orthophosphate).

Wohnsiedlungs- bzw. landwirtschaftliche Betriebsabwässer in Frage, die mit tierischen Ausscheidungen und dergleichen belastet sind. Neben chemischen und physikalischen Untersuchungen an den Kulturböden in dieser Gegend wurden umfangreiche Erhebungen über die Besiedelung des Einzugsgebietes der Freudenseezuflüsse durchgeführt (sh. II. Mitteilung). Dabei war uns von vornherein klar, daß in Anbetracht der zerstreuten und dünnen Besiedelungsweise Maßnahmen im Hinterlande wenig Aussicht auf Erfolg haben werden, um die Eutrophierungsvorgänge zu verlangsamen bzw. zum Halten zu bringen.

Im Winter 1972/73 wurde deshalb der See abgelassen, der nährstoffreiche Schlamm zu 2/3 (oberer und mittlerer Teil des Sees) ausgebagert und im Mai 1973 wieder gefüllt. Die künftigen Untersuchungen zielen im wesentlichen auf die Reaktion des Sees nach der Ausbaggerung ab.

Untersuchungen und Methodik

Wasser

Seit September 1971 bis Mai 1973 wurden Wasserproben aus den Zuflüssen des Freudensees und dem See selbst entnommen, die Durchflußmengen geschätzt und Nährstoffanalysen ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{o-PO}_4\text{-P}$, Ges.-P) durchgeführt entsprechend der Methodik für Wasseruntersuchungen (deutsche Einheitsverfahren).

Probenahmen:

8. 9.71	29. 6.72	17. 5.73
28.10.71	12. 9.72	23. 7.73
11.11.71	25.10.72	13. 8.73
24. 3.72	22. 3.73	

Der $\text{o-PO}_4\text{-P}$ -Gehalt wurde in filtrierten, der Gesamt-P-Gehalt in unfiltrierten Wasserproben ermittelt. Die Nährstofffracht errechnet sich aus Abflußmenge (1/sec) und Nährstoffgehalt. Am See selbst wurden mehrfach chemische Analysen, Plankton- und Sedimentuntersuchungen vorgenommen.

Boden

An 8 verschiedenen Stellen wurden Bodenaufschlüsse (Abb.1) unter Waid-, Acker- und Grünlandnutzung durchgeführt und typische Kenndaten erarbeitet.

Vorschau Heft 1/74

Verlagerung und Auswaschung von Mineralstoffen bei starker Gülledüngung

H. Vetter / A. Klasink

Bedingungen für die biogene Bildung von Schwefelwasserstoff in natürlichen Wässern

P. Udluft / L. Weil

Dynamik des Stickstoffs im Boden im Hinblick auf Festlegung und Auswaschung

A. Amberger

Sickerwassermenge und Stickstoffauswaschung in Lysimeterversuchen

A. Amberger / P. Schweiger

Foresight to no. 1/74

Removal and Leaching of fertilizing Elements applying high amounts of Manure

H. Vetter / A. Klasink

Biogenic Formation of Hydrogen Sulphide in natural waters

P. Udluft / L. Weil

Dynamic of Nitrogen in soil with special regard to N-Fixation and N-Leaching

A. Amberger

Percolation – Rate and Nitrogen-Leaching in Lysimeter-Experiments

A. Amberger / P. Schweiger

Landwirtschaft und Gewässereutrophierung

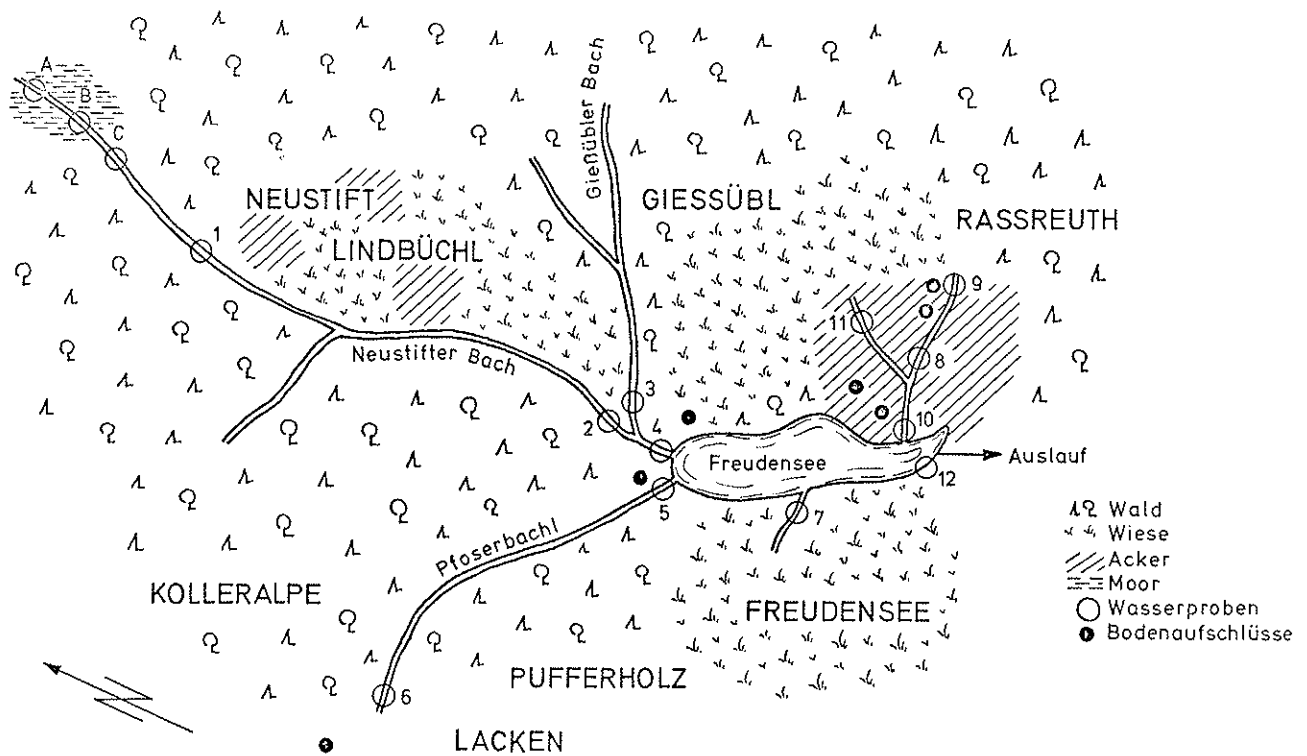
Am 6. Juni 1973 veranstaltete der Arbeitskreis „Phosphate und Wasser“ der Fachgruppe Wasserchemie in der Gesellschaft Deutscher Chemiker im Institut für Pflanzenernährung der Technischen Universität München in Weihenstephan ein Kolloquium, das dem Ziel einer Materialsammlung über den Komplex „Landwirtschaft und Gewässereutrophierung“ diente. Freundlicherweise hatten sich Vertreter der Landwirtschaft und Bodenkunde bereit erklärt, in Referaten die neuesten wissenschaftlichen Kenntnisse der Nährstoffversorgung von Pflanzen mit Stickstoff- und Phosphorverbindungen, des Transportes dieser Nährsalze im Boden sowie der Phosphor- und Stickstoffverfrachtung in Grund- und Oberflächenwässern darzustellen. Auch die Probleme, die sich aus der Nährstoffbelastung oberirdischer Gewässer als Folge der Massentierhaltung ergeben, wurden aufgezeigt. Die gehaltenen Referate werden nunmehr in diesem und dem nächsten Heft veröffentlicht. Hiermit soll allen Interessenten eine Information über den Fragenkomplex vermittelt werden.

Der Arbeitskreis „Phosphate und Wasser“ wird die Probleme, die sich aus der landwirtschaftlichen Bodennutzung und der Massentierhaltung für die Wassergüterwirtschaft ergeben, weiter behandeln, wobei aufgrund seiner personellen Zusammensetzung die Voraussetzungen einer objektiven Behandlung des Gesamtthemas gegeben sind. Die Mitglieder des Arbeitskreises sind in der landwirtschaftlichen Forschung, in der Phosphor- und Stickstoffdüngemittelindustrie sowie in der phosphorherstellenden und -anwendenden Industrie, aber auch in den Abwasser- und Trinkwasserversorgungsverbänden tätig. Das weitere Ziel des Arbeitskreises in diesem Zusammenhang ist eine objektive Beantwortung der Frage, in welchem Umfang Landwirtschaft und Massentierhaltung die Gewässereutrophierung beeinflussen.

Prof. Dr. H. Bernhardt
Vorsitzender des Arbeits-

Prof. Dr. K.-E. Quentin
Vorsitzender der Fach-
gruppe Wasserchemie

ZUFLÜSSE DES FREUDENSEES UND PROBENAHMESTELLEN (schematisch)



Bestimmung der Bodentextur (Methodenbuch Bd.1)
 pH (KCl), CAI-Werte (Schüller, 1969)
 Sorptionskapazität nach Mehlich (Methodenbuch Bd.1)
 Kohlenstoffgehalt (Springer-Klee, 1954)
 N-Gehalt (Kjeldahl)
 Ges. P₂O₅-Gehalt (Bohne, 1958)
 Die durchschnittliche Nährstoffversorgung der landwirtschaftlichen Nutzfläche wurde an 35 Bodenproben aus dem Einzugsgebiet ermittelt (Schüller, 1969).

Ergebnisse

1. Topographische Lage, hydrologische und bodenkundliche Voraussetzungen

Eine schematische Darstellung der örtlichen Situation um den Freudensee ist der Abb.1 zu entnehmen; Abb.2 zeigt ein Foto des Sees im ausgebaggerten Zustand (April 1973). Der See liegt in 487 m Höhe über NN im Bayerischen Wald. Nähere Angaben über die hydrologische bzw. landwirtschaftliche Struktur und Nutzung sind in Tabelle 1 u. 2 angegeben.

Die Zufluß- und Niederschlagsmengen waren im Untersuchungszeitraum (1971, 1972 und 1973) unterdurchschnittlich gering.

Der Freudensee wird von 4 Zuflüssen gespeist, von denen der Neustifter Bach und das Pfoserbachl die größten Wassermengen zuführen; während letzteres aber nahezu ausschließlich aus einem Waldgebiet kommt, wird das obere Einzugsgebiet des Neustifter Baches bis zur



Abb. 2

Probennahmestelle 1 ausschließlich als Wald mit teilweise hochmoorartigem Bruchcharakter, das mittlere und untere Einzugsgebiet zu gleichen Teilen wald- und landwirtschaftlich genutzt, mit einem Grünlandanteil von ca. 60 – 70% an der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Die nur sehr geringe Wassermengen führenden Zuflüsse von Raßreuth und Freudensee stammen dagegen aus einem Siedlungsgebiet mit 100%iger landwirtschaftlicher Nutzung; vor allem der erstere wird sehr stark belastet durch die Ortschaft Raßreuth.

Kenndaten über einige typische Bodenprofile aus dem Gebiet um den Freudensee unter Wald-, Wiesen- und Ackernutzung (Tab.3) weisen diese Böden als schwach bis stark saure, zum Teil grusige Granitverwitterungsböden aus.

Tabelle 1: Kenndaten für das Gebiet Freudensee (Bayer. Wald)

Gemeinde:	Hauzenberg und Raßreuth	
Landkreis:	Wegscheid	
Regierungsbezirk:	Niederbayern	
Fläche:	7 ha	
Volumen:	ca. 100 000 m ³	
größte Tiefe:	3,5 m	
Einzugsgebiet:	9 km ²	
Umgebungsfaktor:	130	
Zuflüsse und mittlere Wasserführung (1/sec):	Neustifter Bach	16,6
	Pfoserbachl	3,4
	Raßreuther Graben	1,7
	Zufluß Freudensee	0,6
durchschnittlicher Zufluß (8.9.1971 – 13.8.1973):	22,3 l/sec	
durchschnittliche Verweildauer:	52 Tage	
Fülldauer (Mai 1973):	30 Tage	
mittlere jährliche Tagestemperatur:	6,9 °C	
Niederschläge (mm):		

	November – April	Mai – Oktober	Jahressumme
langjähriges Mittel	424	585	1 009
Nov. 1970 – Okt. 1971	294	520	814
Nov. 1971 – Okt. 1972	319	478	797
Nov. 1972 – Okt. 1973	369	473	842

Tabelle 2: Landwirtschaftliche Nutzfläche und privater Waldbesitz im Einzugsgebiet der Zuflüsse (ha)

Zuflüsse	Belastung durch Ortschaften	Vollerwerbsbetriebe		Nebenerwerbsbetriebe		Gesamt		Größe des Einzugsgebietes	LN in % des Einzugsgebietes
		LN	Wald	LN	Wald	LN	Wald		
Pfoserbachl	Pufferholz Lacken (gesch.)	—	—	4	—	4	—	150	3
Neustifter Bach	Neustift Lindbüchl Kolleralpe Gießübl	319	132	20	10	339	142	700	50
Raßreuther Graben	Raßreuth zu 50 %	58	27	25	5	83	32	50	100
Zufluß Freudens.	Freudensee	—	—	1	—	1	—	8	100
		Summe:				427	174	908	

Die Restfläche verteilt sich auf Staatswald, Straßen- und Siedlungsflächen sowie Ödland.

Der Hauzenberger Granit verwittert vorwiegend zu Braunerden mit geringer Basensättigung und Tongehalten ($< 2 \mu$) um 20%. Die Wasserdurchlässigkeit wird allgemein als gut bezeichnet (Brunnacker, 1965). Abgesehen von organischen Auflagehorizonten unter Wald liegt die Sorptionskapazität der Böden zwischen 6 – 10 mval/100 g Boden. Der Gesamt-P-Gehalt weist mit 110 bis 172 mg P₂O₅/100 g Boden Werte auf, die höher sind als man entsprechend dem P-armen Ausgangsmaterial des Bayerischen Waldes erwarten würde. An der

Probenahmestelle B (Einzugsgebiet des Neustifter Baches, hochmoorartig) wurden in der oberen Bodenschicht (0 – 25 cm) 340 mg Ges.P₂O₅/100 g Boden festgestellt.

Die durchschnittliche Phosphatversorgung landwirtschaftlich genutzter Flächen beträgt 11 – 12 mg P₂O₅/100 g Boden, die Kaliumversorgung liegt zwischen 14 (Grünland) und 31 (Ackerland) mg K₂O/100 g Boden.

Tabelle 3: Kenndaten von Bodenaufschlüssen unter

	Wald			Grünland			Acker		
Ausgangsgestein				Hauzenberger Granit					
Bodenform	Ranker-Braunerde-Braunerde			tiefgründige Braunerde			lockere, basenarme Braunerde		
Bodenhorizonte	O	A(B)	C _V	A _h	B _V	C _V	A _p	B _V	C _V
cm Tiefe	0-12	12-25	25-80	0-15	15-35	35-90	0-25	25-40	40-90
Textur %									
0,002/-0,02	22/18	27/15	25/15	18/24	26/20	28/17	19/24	21/24	23/15
-0,2/-2,0 mm	29/31	21/37	17/43	12/46	14/40	16/39	13/44	16/39	20/42
p ^H (KCl)	2,7	3,7	4,2	5,6	5,1	4,7	5,6	4,4	4,3
T-Wert (MEHLICH)	25,4	25,3	6,4	9,8	10,1	8,6	10,2	8,0	6,0
mval/100 g Boden									
V %	2	4	1	87	84	11	57	15	35
C %	12,50	5,50	0,80	2,20	0,70	0,50	2,10	1,50	1,20
N %	0,62	0,20	—	0,20	0,07	0,05	0,19	0,12	0,10
Ges. P ₂ O ₅ mg/100 g Boden	110	135	94	149	93	76	172	127	141
P ₂ O ₅ (CAL)mg/100 g Boden	4	9	1	9	0	0	4	1	0
K ₂ O	—	6	4	5	4	4	19	6	4

2. Stickstoff- und Phosphor-Gehalte bzw. -Frachten der Zuflüsse des Freudensees

Tabelle 4: Mittlere N- und P-Gehalte in den Zuflüssen des Freudensees (mg/l) (8 Probenahmen: 11.11.1971 - 13.8.1973)

Probenahmestelle	NH ₄ -N	NO ₃ -N	o-PO ₄ -P	Ges. P
(1) Neustifter Bach Anfang	0,14	0,51	0,15	0,22
(2) Neustifter Bach Mitte	0,05	0,93	0,10	0,10
(3) Gießübler Bach	0,15	1,84	0,14	0,24
(4) Neustifter Bach Mündung	0,11	1,27	0,11	0,15
(5) Pfoserbachl Mündung	0,03	0,76	0,15	0,19
(6) Pfoserbachl Anfang	0,04	0,82	0,08	0,11
(7) Zufluß Freudensee	0,16	2,34	0,15	0,18
(8) Raßreuther Graben Mitte	0,07	5,88	0,09	0,12
(9) Raßreuther Graben Anfang	20,79	0,15	8,62	19,18
(10) Raßreuther Graben Mündung	0,12	5,01	0,08	0,12
(11) Raßreuther Graben Mitte	0,10	4,83	0,23	0,26
(12) Freudensee Nähe Ablauf	0,17	0,91	0,06	0,10
GD 5 % (Nr. 1 - 12)	3,59	0,55	2,30	5,33
(ohne Nr. 9)	0,13	0,58	0,13	0,15

Einmalige Wasseruntersuchung (13.8.1973) am Oberlauf des Neustifter Baches bis zur Probenahmestelle 1:

A	0,22	0,01	0,08	0,09
B	0,08	0,15	0,04	0,06
C	0,07	0,28	0,06	0,06
Trinkwasser Hauzenberg	0,003-	0,53-	0,04-	0,04-
(verschiedene Quellen):	0,02	1,88	0,08	0,08

Berücksichtigt man in der Varianzanalyse (Tab.4) sämtliche Probenahmestellen, so ist der größte Streuungsanteil auf die Probenahmestelle zurückzuführen. Unter Ausschluß der Stelle Nr.9 unterscheiden sich die NH_4 - und P-Gehalte zwischen den Probenahmezeiten deutlicher als zwischen den Untersuchungsstellen (insbesondere die NH_4 -N-Werte). In beiden Fällen differierten die NO_3 -Werte weit stärker als die P-Werte.

Extrem hohe Werte für NH_4 -N, o- PO_4 -P und Ges.P finden sich am Beginn des Raßreuther Grabens an der Entnahmestelle 9, die den starken Einfluß der Ortschaft Raßreuth mit häuslichen und landwirtschaftlichen Betriebsabwässern (z.B. überlaufende Jauchegruben, Ablauf von Miststapelflächen aus Hanglage etc.) deutlich machen. Auf diesen Teil des Einzugsgebietes wird später noch näher eingegangen. Die Orthophosphatwerte liegen mit $\bar{0}$ 0.13 ppm (ohne Nr.9) allgemein auffallend hoch; auch das Pfoferbachtal aus reinem Waldgebiet bildet darin keine Ausnahme. Der Waldabfluß an Probenahmestelle 1 stammt aus einem teilweise stark moorigem Gebiet und ist an dieser Stelle noch föhlig frei von Einflüssen der landwirtschaftlichen Nutzung bzw. Besiedlung. Die P-Gehalte der Abflußwässer aus Mooregebieten liegen bekanntlich allgemein höher (Eggelsmann, 1972, Gerth, 1972) und zeigen eine enge Korrelation zur braunen Färbung dieser Wässer (P-Mobilisierung durch Huminsäuren) (Flieg, 1935). Eine nachträgliche einmalige Untersuchung (13.8.1973) am Beginn des Neustifter

Baches bis zur Probenahmestelle 1 ergab ähnlich hohe P-Werte. Ferner wies auch das im Bereich der Quelle des Neustifter- u. Pfoferbaches gefaßte und in geschlossenen Rohrleitungen zum Wasserwerk Hauzenberg geleitete Trinkwasser Werte zwischen 0.04 – 0.08 mg o- PO_4 -P/l auf.

Die P-Gehalte entsprechen in etwa denen unserer Lysimetersickerwässer (Amberger, 1973), liegen jedoch um das 10-Fache höher als in der Literatur erwähnte Werte von Dränagewässern (Wiklander, 1970, 1971, Tomlinson, 1971). Bildet man den Quotienten aus Orthophosphat-P und der Differenz Gesamt-P minus o- PO_4 -P, so ergeben sich, unter Ausschluß der Probestelle 9 durchwegs Werte von > 1 . Dieses Ergebnis deutet darauf hin, daß im Untersuchungszeitraum Erosionsvorgänge (also oberflächliche Abschwemmung von festen Bodenteilchen etc.) nur von untergeordneter Bedeutung waren. Als Hauptursache für die relativ hohen P-Werte sind wohl die gegenüber dem langjährigen Mittel insgesamt um ca. 20% geringeren Niederschlagsmengen der Jahre 1971 – 1973 und die damit verbundenen geringen Wassermengen der Zuflüsse zu nennen. Der oberflächliche Abfluß von Niederschlagswasser dürfte somit unverhältnismäßig gering, der Sickerwasseranteil dagegen relativ hoch gewesen sein. Da unter solchen Bedingungen die Filterfunktion des Bodens auf alle mit der Wasserbewegung zusammenhängenden Vorgänge von entscheidendem Einfluß ist, müssen daraus sehr ähnliche P-Gehalte im nahezu gesamten Einzugsgebiet resultieren.

Tabelle 5: N- und P-Gehalte der Zuflüsse am Eintritt in den See (mg/l) – Mittelwerte und Streubreite aus 10 Probenahmen (8.9.1971 – 13.8.1973, ohne 22.3.1973)

	Pfoferbachtal (5)	Neustifter Bach (4)	Raßreuther Graben (10)	Zufluß Freudensee (7)	Durchschnitt (5,4,10,7)
NH_4 -N	0,04 (0,01-0,07)	0,08 (0,05-0,15)	0,04 (0,00-0,09)	0,08 (0,04-0,39)	0,06
NO_3 -N	0,69 (0,48-0,95)	1,22 (0,75-1,48)	5,27 (4,84-6,63)	2,29 (0,57-2,77)	2,37
o- PO_4 -P	0,10 (0,05-0,19)	0,10 (0,05-0,25)	0,08 (0,03-0,24)	0,12 (0,03-0,60)	0,10
Ges. P	0,13 (0,07-0,21)	0,14 (0,04-0,34)	0,13 (0,05-0,39)	0,14 (0,05-0,67)	0,14
Probenahme 22.3.1973 (beginnende Schneeschmelze)					
NH_4 -N	0,01	0,44	0,78	0,95	0,46
NO_3 -N	0,96	1,74	4,18	1,58	2,12
o- PO_4 -P	0,45	0,15	0,13	0,24	0,24
Ges. P	0,48	0,12	0,16	0,24	0,24

Unmittelbar vor dem Eintritt in den See sind die Durchschnittswerte für NH_4 -N allgemein sehr gering (Tab.5). Die vorwiegend aus Gebieten mit landwirtschaftlicher Nutzung bzw. Besiedlung kommenden Zuflüsse (4, 10, 7) weisen deutlich höhere NO_3 -N-Gehalte auf als das Pfoferbachtal (Waldgebiet).

Diese Feststellung trifft für den gesamten Untersuchungszeitraum zu (Tab.6). Der Wald gibt demnach ein-

deutig weniger Stickstoff ab als landwirtschaftliche Nutzungs- und Siedlungsgebiete (sh. N-Frachten). Eine genauere Unterscheidung hinsichtlich der Ursachen für die höheren N-Gehalte im landwirtschaftlichen Nutzungs- und Siedlungsgebiet ist in diesem Falle nicht möglich. Die hohen Stickstoffwerte des Raßreuther Grabens (am Beginn (9) sehr hohe NH_4 -N, in der Mitte (8) und an der Mündung (10) sehr hohe Nitrat-

Tabelle 6: $\text{NO}_3\text{-N}$ - Gehalte (mg/l) im Pfoserbachl (Nr. 5), Neustifter Bach (Nr. 4) und Raßreuther Graben (Nr. 10) vor der Mündung in den See

Charakterisierung der Einzugsgebiete	Probenahmestelle Nr.		
	5	4	10
	100 % Wald	50 % landw. Nutzung mit Siedlungen	Siedlung (Raßreuth) mit 100 % landw. Nutzung
Probenahme:			
8. 9.1971	0,48	1,32	6,10
28.10.1971	0,64	1,26	6,63
11.11.1971	0,64	1,48	5,24
24. 3.1972	0,78	1,41	5,74
29. 6.1972	0,85	1,28	5,81
12. 9.1972	0,52	1,16	4,84
25.10.1972	0,95	1,22	4,84
22. 3.1973	0,96	1,74	4,18
17. 5.1973	0,90	1,15	5,81
13. 8.1973	0,50	0,75	3,59
Mittelwert	0,73	1,28	5,28

werte (Tab. 4) sind mit Sicherheit auf die Besiedelung (häusliche und landwirtschaftliche Abwässer) zurückzuführen.

Während der Schneeschmelze dürften landwirtschaftlich genutzte Flächen (Wiesen, Äcker) vornehmlich mit oberflächlich aufliegenden Wirtschaftsdüngern an den höheren $\text{NH}_4\text{-N}$ und $\text{NO}_3\text{-N}$ -Werten der Zuflüsse stärker beteiligt sein. Die Relation $\text{NO}_3\text{-N}/\text{NH}_4\text{-N}$ liegt in der Zeit vom 8.9.71 bis 13.8.73 durchwegs >15 (Tab. 5); zur Zeit der Schneeschmelze verengt sich dagegen dieses Verhältnis auf 2–6 an den Stellen 4, 10 und 7 und weist damit auf eine stärkere Beeinflussung durch häusliche und landwirtschaftliche Abwässer hin (Bernhardt, 1969). Im Gegensatz dazu ist der $\text{NO}_3\text{-N}/\text{NH}_4\text{-N}$ -Quotient an der Probenahmestelle 5 (Wald) zur Zeit der Schneeschmelze 192. Die P-Gehalte liegen in den 4 Zuflüssen annähernd gleich hoch (Mittelwert 0.11 ppm o- $\text{PO}_4\text{-P}$)

und lassen somit keine Unterscheidung der verschiedenen Einzugsgebiete zu.

Die Höhe der Nährstofffracht hängt in erster Linie von der zufließenden Wassermenge ab; so weist der Neustifter Bach den weitaus stärksten Nährstoffeintrag auf (Tab. 7). Das Pfoserbachl dagegen, dessen Einzugsgebiet ohne Siedlung und nur forstwirtschaftlich genutzt ist, bringt jährlich die geringste Menge an Stickstoff pro ha; die P-Zufuhr je ha Einzugsgebiet ist insgesamt gering, abgesehen vom Zufluß aus der Ortschaft Freudensee (sehr kleines Einzugsgebiet (8 ha)). Der mittlere jährliche Eintrag in den See beträgt demnach 1.18 kg mineralischen N und 70 g Orthophosphat-P bzw. 114 g Gesamt-P pro ha Einzugsgebiet. Diese Werte stimmen gut überein mit Ergebnissen aus den USA (Tomlinson, 1971, Brezonik, 1972), der Schweiz (Gächter, 1972) und Deutschland (Klett, 1965, Bernhardt, 1969). Trotz

Tabelle 7: Jährliche N- und P-Fracht der Zuflüsse des Freudensees

Zufluss	Einzugsgebiet (ha)	landw. Nutzfl. (ha)	mittlerer Zufluß l/sec	Nährstofffracht (kg)				Nährstofffracht kg/ha Einzugsgebiet	
				$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	o- $\text{PO}_4\text{-P}$	Ges.P	mineral.N	o- $\text{PO}_4\text{-P}$
Pfoserbachl	150	4	3,4	4,3	74,6	10,9	15,0	0,51	0,07
Neustifter Bach	700	339	16,6	36,9	698,8	49,8	81,6	1,05	0,07
Raßreuther Graben	50	50	1,7	1,1	212,3	3,2	5,0	4,27	0,06
Zufluß Freudensee	8	8	0,6	0,8	43,4	2,1	2,1	5,53	0,26
Summe	908	401	22,3	43,1	1029,1	66,0	103,7		
mittlere Jahresabgabe:								1,18	0,07

dieser guten Übereinstimmung darf nicht unerwähnt bleiben, daß eine Errechnung der P-Fracht auf die Oberfläche des Einzugsgebietes bezogen – obwohl sehr häufig durchgeführt – unlogisch und daher nicht statthaft ist. Aus vielen Untersuchungen aus aller Welt ist mittlerweile unbestritten, daß Phosphat (zum Unterschied von Nitrat!) im Boden vertikal nur sehr schwer beweglich ist (siehe auch Mitteilung II). Die P-Fracht kann also nicht aus der Menge an im ganzen Einzugsgebiet perkolierendem Phosphat zustande gekommen sein, sondern nur durch die P-Aufnahme des Wassers bzw. P-Resorption in der unmittelbaren Umgebung der Quelle bzw. des Bachlaufes (durch Lösung aus dem Boden bzw. Sediment, Randerosion etc.) bzw. durch Einleitung von Abwässern aller Art. Einen indirekten Beweis dafür liefert auch die Tabelle 4: Von Anfang bis zur Mündung eines Baches

(z.B. Neustifter, Raßreuther), also mit Zunahme der Einzugsfläche nehmen die Nitratwerte zu, die o-Phosphat- und Gesamt-P-Werte aber ab. Verglichen mit obigen Literaturangaben liegt der jährliche Austrag aus dem Einzugsgebiet des Freudentees an der unteren Grenze und in einem Bereich, der von den genannten Autoren für überwiegend forstwirtschaftlich genutztes Gebiet angegeben wird.

Für den Freudentee ergibt sich im Untersuchungszeitraum eine mittlere jährliche Belastung je m² von 14.7gN und 0.94 g o-PO₄-P bzw. 1.48 g Gesamt-P. Nach Vollenweider (1968) sind diese Werte aber bereits ausreichend für Eutrophierungsvorgänge! Die kritische Belastung für einen flachen See liegt nämlich etwa bei 0.1 g Gesamt-P bzw. 1–2 g N/m² und Jahr.

In den Tabellen 8–10 werden Teilbereiche des Einzugsgebietes einander gegenübergestellt.

Tabelle 8: N- und P-Gehalt des Neustifter Baches in Waldgebiet ohne Siedlung bzw. in besiedeltem Gebiet (Neustift, Lindbüchl, Gießbühl) mit landwirtschaftlicher Nutzung

Probenahmestelle	11.11.1971 – 13.8.1973		22.3.1973 – beginnende Schneeschmelze	
	unbesiedelt, Wald 1	besiedelt, mit landw. Nutzung 4	unbesiedelt, Wald 1	besiedelt, mit landw. Nutzung 4
Durchfluß l/sec	6	14	3	12
NH ₄ -N)	0,07	0,06	0,07	0,44
NO ₃ -N)	0,49	1,21	0,63	1,74
o-PO ₄ -P) mg/l	0,10	0,10	0,16	0,15
Ges.P)	0,13	0,15	0,20	0,12

jährliche N-Fracht (kg) bzw. Abgabe (kg/ha):

	unbesiedelt	besiedelt	▲ N-Besiedelung		unbesiedelt	besiedelt	▲ N-Besiedelung	
			kg	kg/ha LN			kg	kg/ha LN
NH ₄ -N	13,2	26,5	13,3	0,04	7,3	167,9	160,6	0,47
NO ₃ -N	92,7	534,2	441,5	1,30	58,4	657,0	598,6	1,76
Summe	105,9	560,7	454,8	1,34	65,7	824,9	759,2	2,23

An der Probenahmestelle 1 tritt der Neustifter Bach aus reinem, zum Teil moorigen Waldgebiet aus und entwässert anschließend die landwirtschaftlich genutzten und besiedelten Gebiete Neustift, Lindbüchl und Gießbühl (Probenahmestelle 4). Die Besiedelung bringt lediglich einen Anstieg der NO₃-Gehalte und zur Schneeschmelze auch NH₄-Werte mit sich (Tab. 8). Die P-Werte liegen in Wald mit Ø 0.10 ppm o-PO₄-P bzw. 0.13 ppm Ges.P bereits sehr hoch und werden durch die landwirtschaftliche Nutzung bzw. Besiedelung nicht erhöht (Unter-

schied im Ges.-P-Gehalt nicht signifikant). Für das besiedelte und landwirtschaftlich genutzte Gebiet errechnet sich ein jährlicher Austrag von 1.3 kg N/ha. Dieser liegt damit über dem Durchschnitt des gesamten Einzugsgebietes (1.0 kg N) in der gleichen Zeitspanne. Zur Zeit der Schneeschmelze beträgt der Austrag dagegen 2.2 kg N/ha, zurückzuführen auf um 0.4–0.5 ppm höhere NH₄- und NO₃-N-Gehalte der Zuflüsse gegenüber dem Zeitraum 71/73. Die Ursache dürfte teils in unkontrollierter Einleitung von häuslichen und landwirtschaft-

lichen Abwässern in die Bäche, teils in der oberflächlichen Abschwemmung unsachgemäß, d.h. zum falschen Zeitpunkt ausgebrachter wirtschaftseigener Düngemittel liegen.

Früher (Tab. 4) wurde gezeigt, daß die N- und P-Gehalte im Abwassergraben der Gemeinde Raßreuth an der Probenahmestelle Nr. 9 extrem hoch liegen. Dieser Graben versickert dann zum Teil und tritt nach etwa 150 m wieder an die Oberfläche. Ein unmittelbarer

Zusammenhang zwischen dem Abwassergraben und dem eigentlichen Raßreuther Graben konnte zwar nicht nachgewiesen werden, dürfte jedoch sehr wahrscheinlich sein. Die anfänglich hohen NH_4 -Werte im Abwassergraben verschwinden infolge Nitrifikation im Boden bzw. Verdünnung durch andere Zuflüsse bis zum Eintritt in den See rasch (Tab. 9), dagegen steigen die NO_3 -Gehalte stark an.

Tabelle 9: N- und P-Gehalt des Raßreuther Grabens in der unmittelbaren Umgebung der Gemeinde Raßreuth (mg/l)

Probenahmestelle	Mittelwert aus 8 Proben 11.11.1971 – 13.8.1973			
	besiedelt mit landwirtschaftlicher Nutzung			unbesiedelt (Kontrollwert)
	Nr. 9 x)	Nr. 8 ^{xx)}	Nr. 10 ^{xxx)}	Ø Nr. 1,6
NH_4 -N	20,79	0,07	0,12	0,09
NO_3 -N	0,15	5,88	5,01	0,66
o- PO_4 -P	8,62	0,09	0,08	0,11
Ges. P	19,18	0,12	0,12	0,16

x) Nr. 9: Abwassergraben unmittelbar nach Ortschaft Raßreuth (vor Versickerung)

xx) Nr. 8: Raßreuther Graben (Wiederaustritt 150 m unterhalb Nr. 9)

xxx) Nr. 10: unmittelbar an der Mündungsstelle in den Freudensee

Die zunächst hohen P-Gehalte (Nr. 9) werden durch die Phosphat-Sorption des Bodens während der Versickerung stark reduziert. Als Folge davon konnte eine Anrei-

cherung des Bodens mit Phosphor eindeutig nachgewiesen werden (Tab. 10). Selbst in 45–90 cm Tiefe konnte noch eine P-Anreicherung von 64 auf 195 mg $\text{P}_2\text{O}_5/100$ g Boden festgestellt werden.

Auch die N-Gehalte des Bodens sind an der Versickerungsstelle deutlich erhöht.

Tabelle 10: Nährstoffgehalte des Bodens (Acker) mit und ohne Einfluß des Raßreuther Abwassergrabens

Aufschluß 1 = Lage inmitten der Versickerungsstelle

Aufschluß 2 = Lage oberhalb der Versickerungsstelle

Ap (0-25) (B) (B_V) (25-45) (B) C (45-90)	Aufschluß 1			Aufschluß 2		
	Ap	(B)	(B)/C	Ap	B_V	C
	dunkelbrauner, lockerer lehmiger Sand	dunkelbrauner, lockerer lehmiger Sand	brauner, sandiger Lehm	dunkelbrauner, lockerer lehmiger Sand	ockerbrauner lehmiger Sand, grusig	hellbrauner, toniger Sand, grusig
pH (KCl)	5,0	4,1	4,1	5,6	4,7	4,3
T-Wert (mval/100 g B)	9,3	7,9	6,3	10,0	7,1	4,7
V %	42	11	55	56	24	34
C %	2,11	1,36	0,94	1,65	0,93	0,30
N %	0,21	0,13	0,09	0,16	0,10	0,04
Ges. P_2O_5 (mg/100 g B)	266	234	195	226	156	64
CAL: P_2O_5 (mg/100 g B)	14	11	10	19	8	3
K_2O (mg/100 g B)	14	4	4	22	6	5

3. Nährstoffe im See und Seesediment

Ein See stellt ein Sammelbecken des Nährstoffaustrages des ganzen Einzugsgebietes dar; ein erheblicher Teil der eingebrachten Nährstoffe wird zurückgehalten und im Sediment des Sees deponiert. Soweit diese in ungelöster Form eingebracht wurden, kommen sie größtenteils unmittelbar zur Sedimentation. Gelöste oder solubilierte Nährstoffe werden biogen gebunden und in einem „kurz geschlossenen Kreislauf“ mehrfach umgesetzt. Ein Teil davon gelangt mit dem absinkenden Plankton in das Sediment. Daneben spielen anorganische Fällungs- und Bindungsreaktionen eine gewisse Rolle. Der Nährstoffsedimentation entgegen wirkt die Remobilisierung von Nährstoffen aus dem angesammelten Depot des Sedimentes. Die Austauschprozesse der Nährstoffe des Sedimentes mit dem freien Wasser erfolgen durch Lösungs-, Diffusions- und Sorptionsprozesse, die biogen bedingt oder modifiziert sein können (Tessenow, 1972). Deren Art und Größe wird von vielen Faktoren bestimmt, wie mineralogische Zusammensetzung, pH-Wert, Redoxpotential usw. Ganz allgemein ist die Phosphatmobilisierung bei negativem Redoxpotential wesentlich größer als unter oxydativen Bedingungen. So fand Tessenow (1972) in einem dem Freudensee-Sediment etwa vergleichbaren Sediment des Ursees (Schwarzwald) eine Remobilisierung im anaeroben Bereich von 10–16 mg P/m² und Tag, im aeroben dagegen nur 18–20% davon.

Für die Stickstoffretention spielt auch der Austausch Wasser → Atmosphäre eine große Rolle. Insbesondere in eu-polytrophen Seen kann die Denitrifikation zu einer starken Verminderung des N-Gehaltes führen.

Für den Zeitraum vom 8.9.71 – 25.10.72 (7 Termine; anschließend wurde der See ausgebaggert) betragen die mittleren N- und P-Gehalte des Sees (bzw. Minima und Maxima) (mg/l):

NH ₄ -N:	0.07	(n.n. – 0.15)
NO ₃ -N:	0.64	(0.09 – 1.38)
O-PO ₄ -P:	0.018	(0.002 – 0.042)
Ges.P.:	0.105	(0.049 – 0.260)

Lösliches o-Phosphat kommt somit zeitweise auch in sehr geringen Mengen vor, woraus hervorgeht, daß dem Phosphat wohl noch immer eine begrenzende Funktion in der Eutrophierung zukommt. Mineralischer Stickstoff wird aber ebenfalls bis zu recht niedrigen Gehalten in den Sommermonaten genutzt.

Zur Ergänzung seien noch einige Analysendaten des Seewassers (September bzw. November 1971) mitgeteilt:

pH	6.3 – 9.7
SBV (mval/l)	0.32 – 0.4
Karbonathärte °dH	0.9 – 1.1
Gesamthärte °dH	1.0 – 1.2
Sulfat mg/l	8 – 16
Chlorid mg/l	9
Gesamt-Fe mg/l	0.18 – 0.53

Hohe Sauerstoffsättigungen einerseits und eine Sauerstoffzehrung von 20–25% andererseits, sowie die Sichttiefe von nur 0.5 m sind Ausdruck erheblicher Eutrophierungserscheinungen dieses Sees. Aus den mittleren Nährstoffgehalten errechnet sich die Nährstoffretention im See unter der Annahme einer gleichen Secabflußmenge von etwa 48% für min.N (NH₄-N + NO₃-N) und 29% für Ges.P. Verglichen mit den von Vollenweider (1968) zusammengestellten Retentionswerten ist der Rückhalt des Freudensees damit relativ gering. Insbesondere tiefere Seen halten dagegen wesentlich mehr Phosphat zurück.

Das Sediment des Freudensees ist eine dunkelbraun gefärbte Gytija, wasserreich, mit relativ hohen Gehalten an organischen Stoffen. Es wurden 2 Stecherprofile, eines im oberen Drittel, ein zweites wenige Meter vor dem Damm, entnommen (Tab. 11).

Tabelle 11: Untersuchung des Freudensee — Sedimentes

Profil	Wasser- gehalt %	Glühverlust (500° C) % v. Trockengewicht	CSB mg O ₂ /g	Ges. N mg/g Trocken- gewicht	Ges. P mg/g Trocken- gewicht
a) oberes See- drittel					
0– 5 cm	81,6	18,3	193	6,77	1,66
5–12 cm	81,2	15,3	210	6,57	1,21
12–22 cm	62,6	9,8	212	4,58	1,43
22–28 cm	30,6	5,4	34	1,02	0,67
b) vor Damm					
0– 5 cm	83,8	40,5	268	7,10	1,49
5–12 cm	80,3	13,4	161	5,92	1,35
12–15 cm	74,5	11,9	185	5,42	1,07
15–20 cm	66,1	10,7	130	4,08	1,09
20–28 cm	65,4	8,0	181	4,41	1,13

Aus den Wassergehalten zeigt sich die zunehmende Verdichtung tieferer Schichten, dagegen nimmt der Gehalt an organischen Stoffen, gemessen am Glühverlust, ab. Die Dicke der Gyttrjaablagerung erreichte im oberen Drittel 22 cm; die Schicht von 22–28 cm ist, wie auch die mikroskopische Kontrolle zeigte, keine limnische Ablagerung mehr; sie ist hellbraun, lehmig-tonig und weicht in ihrer Zusammensetzung bereits wesentlich von dem darüberliegenden Sediment ab. Im Stecherprofil vor dem Damm wurde die untere Grenze der eigentlichen Seenablagerung mit 28 cm Profiltiefe noch nicht erreicht. Die Sedimentlage ist hier wahrscheinlich durch Verschleppung in Richtung Seeauslauf wesentlich stärker. Die Gehalte an Nährstoffen im Sediment sind insgesamt recht hoch, im Vergleich dazu liegen die Gehalte eutropher Alpenvorlandsseen bei 0.5–0.8 mg Ges.P und 3–5 mg org.N / g Tr.S.

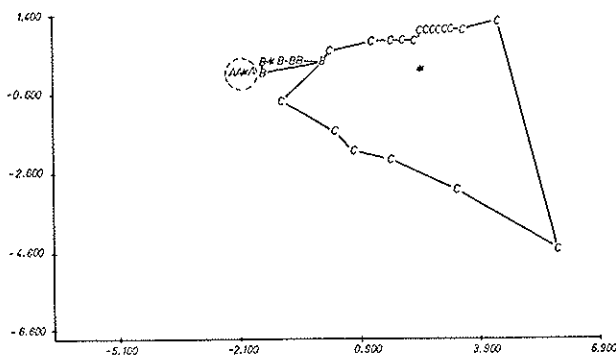
Diskussion

Das Einzugsgebiet des Freudensees stellt ein rein ländliches Gebiet ohne Industrie dar; die Flächen werden ausschließlich forstwirtschaftlich bzw. landwirtschaftlich auf geringer Intensitätsstufe (siehe II. Mitteilung) genutzt.

Mittels einer Diskriminanzanalyse* können Gebiete verschiedener Besiedlungsstärke und Nutzungsintensität auf Grund der durchgeführten N-Analysen im Wasser ohne Überschneidung abgegrenzt werden (Abb. 3).

Abb. 3

Diskriminanzanalyse:
Nährstoffgehalte im Oberflächengewässer (Zuflüsse des Freudensees)
A: Siedlungsfreie Gebiete (Wald) (Stelle Nr. 1.5,6)
B: Vorwiegend landwirtschaftliche Nutzung mit Siedlungen (Stelle Nr. 2,3,4)
C: Vorwiegend Siedlungen mit landwirtschaftlicher Nutzung (Stelle Nr. 8,9,10,11)



Maßgeblich für die Trennung waren in erster Linie die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Werte; die P-Gehalte brachten keinen Trennungseffekt. Während die Nährstoffgehalte der Zuflüsse der Gebiete A und B nur geringfügig streuten, kommt eine

* Das Rechenprogramm wurde uns dankenswerter Weise vom Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der TU München-Weihenstephan zur Verfügung gestellt.

hohe Schwankungsbreite im stärker besiedelten Gebiet zum Ausdruck.

Unmittelbar vor der Einmündung in den Freudensee wiesen alle Zuflüsse gleiche P-Gehalte auf; zumindestens lassen sich die Unterschiede statistisch nicht absichern. Eine stellenweise Versickerung der wenig Wasser führenden Rinnsale führte zu einer starken Verringerung des Gehaltes an gelöstem und ungelöstem Phosphor infolge Sorption und Filtration durch den Boden. In relativ niederschlagsreichen Normaljahren dürfte daher die unmittelbare Zuleitung von häuslichen und landwirtschaftlichen Abwässern sicherlich eine Belastung für den Freudensee darstellen.

Der jährliche Austrag aus den landwirtschaftlich genutzten Flächen mit 70 g o- $\text{PO}_4\text{-P}$ und 1.3 kg N ist nicht überaus hoch. Auf die Tatsache, daß der P-Austrag nicht auf ein Einzugsgebiet bezogen werden kann, wurde bereits hingewiesen. Die Erosionsgefährdung war im Untersuchungszeitraum (unterdurchschnittliche Niederschläge), gemessen an dem Verhältnis von gelöstem P/ungelöstem P nicht groß; das Gebiet weist nur einen mäßigen Ackeranteil an der landwirtschaftlichen Nutzfläche auf. In Normaljahren dürften Erosionsvorgänge einen deutlicheren Einfluß haben, insbesondere zur Zeit der Schneeschmelze. Auffallend hoch sind die P-Gehalte des Neustifter Baches unmittelbar nach dem Austritt aus reinem Waldgebiet (0.15 ppm o- $\text{PO}_4\text{-P}$) gegenüber dem Durchschnitt sämtlicher Wasserproben von 0.12 ppm o- $\text{PO}_4\text{-P}$! Auch die P-Gehalte im Pfoiserbachl, aus ebenfalls unbesiedeltem Waldgebiet kommend, liegen mit durchschnittlich 0.08 ppm sehr hoch. Diese Braunerde-Ranker unter Wald mit 135 mg Ges. P_2O_5 /100 g Boden im A (B)-Horizont stellen sicherlich gut dränende Böden dar. Da Huminsäuren und deren Vorstufen sowie andere organische Säuren aus dem O-Horizont die Beweglichkeit des Phosphates zu erhöhen vermögen, wäre eine gewisse Herauslösung des P aus mineralischen Horizonten A (B) und C durchaus denkbar und höhere P-Werte im Abfließwasser erklärbar. Für den Neustifter Bach kommt noch hinzu, daß er vor dem Austritt aus einem geschlossenem Waldgebiet anmoorige Flächen bzw. reines Hochmoor durchfließt mit ebenfalls hohen P-Gehalten (340 mg P_2O_5 /100 g Boden an Stelle B). Die Lösungsbedingungen für Phosphat sind unter diesen reduktiven, stark sauren Bedingungen mit hohem Anteil an organischer Substanz sicherlich gut. Auch lassen hohe Fe-Gehalte im Wasser (bis zu 1.3 mg Ges.Fe/l) eine Mobilisierung von Eisenphosphaten vermuten. Dementsprechend liegen die P-Werte im Trinkwasser der Gemeinde Hauzenberg, das im Bereich der Quelle des Neustifter Baches in reinem unbesiedeltem Waldgebiet gefaßt wird, ebenfalls hoch (0.08 ppm o- $\text{PO}_4\text{-P}$). Die P-Belastung des Freudensees ist mit 14.7 g N und 0.94 g o- $\text{PO}_4\text{-P}$ pro m^2 recht beachtlich. Berücksichtigt man noch die hohe Verweildauer des Wassers von durchschnittlich 52 Tagen und die dadurch bedingte Erwärmung in den Frühjahrs- und Sommermonaten, so sind Eutrophierungsvorgänge naheliegend.

Hinzu kommt, daß die Gemeinde Hauzenberg seit einigen Jahren aus dem Einzugsgebiet des Freudensees (Pfoserbachl) Wasser für ihre Trinkwasserversorgung entnimmt (nach Angaben ca. 20 l/sec.) und damit infolge längerer Verweildauer und stärkerer Erwärmung des Zuflußwassers im See eine zusätzliche Belastung des Freudensees gegeben ist. Zeitweilig geringe o-PO_4 -Gehalte des Seewassers lassen darauf schließen, daß dem Phosphat hinsichtlich Eutrophierung eine begrenzen- de Funktion zukommt. Dagegen ist die Nährstoffretention

des Sees mit 48% für min.N und 29% für Ges.P gering. Es wären deshalb auch andere begrenzen- de Faktoren für das Algenwachstum, wie z.B. Bicarbonat oder Ca denkbar.

Die Untersuchungen wurden gefördert durch eine Sach- beihilfe der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Schwerpunktprogramm „Phosphat- und Nitratfracht von Oberflächengewässern“, wofür an dieser Stelle besonders gedankt sei.

Literaturverzeichnis

- Amberger, A. u. P. Schweiger (1973): Wanderung der Pflanzennährstoffe im Boden und deren Bedeutung in einer umweltbewußten Landwirtschaft – Bodenkultur 24, 221–236
- Bernhardt, H., Such, W. und A. Wilhelms (1969): Abwässer der Landwirtschaft und landwirtschaftlicher Verarbeitungsbetriebe – Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie 16, 61–118
- Bohne, H., Gröpler, P. und M. Dittmer (1958): Beitrag zur Bestimmung der Gesamt-Phosphorsäure des Bodens mit Überchlorsäure – Zeitschrift Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 82, 42–47
- Brezonik, P.L. (1972): Nitrogen-sources and transformations in natural waters – in: H.E. Allen, J.R. Kramer: Nutrient in natural waters – J. Wiley a. Sons, New York
- Brunnacker, K. (1965): Erläuterungen zur Bodenkarte von Bayern 1 : 25 000, Blatt Nr. 6945 Zwiesel-Verlag Bayer. Geolog. Landesamt, München
- Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Verlag Chemie, GmbH, Weinheim/Bergstr., 3. Auflage
- Eggelsmann, R. und H. Kuntze (1972): Vergleichende chemische Untersuchungen zur Frage der Gewässer- eutrophierung aus landwirtschaftlich genutzten Moor- und Sandböden – Landw. Forschung 25, Sonderheft 27/1, 140–154
- Flieg, O. (1935): Über den Einfluß von Humaten auf die Beweglichkeit der Phosphorsäure im Boden – Z. Pflanzenernährung 38, 222–238
- Gächter, R. und J. Furrer (1972): Der Beitrag der Land- wirtschaft zur Eutrophierung der Gewässer in der Schweiz – Schweiz. Zeitschrift f. Hydrologie 34, 1
- Gerth, A. (1972): Die Phosphorsäureverhältnisse in vier Niedermooren – Landw. Forschung 25, 112–126
- Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Unter- suchungsmethodik, Bd. I (1955): Die Untersuchung von Böden – Neumann Verlag, Radebeul und Berlin, 3. Auflage
- Klett, M. (1965): Die boden- und gesteinsbürtige Stoff- fracht von Oberflächengewässern – Arbeiten der Univ. Hohenheim, Bd. 35, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- Schüller, H. (1969): Die CAL-Methode, eine neue Methode zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphates in Böden – Z. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 123, 48–63
- Springer, K. und J. Klee (1954): Prüfung der Leistungs- fähigkeit von einigen wichtigen Verfahren zur Bestim- mung des Kohlenstoffs mittels Chromschwefelsäure sowie Vorschlag einer neuen Schnellmethode – Z. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 64, 1–26
- Tessenow, U. (1972): Lösungs-, Diffusions- und Sorptionsprozesse in der Oberschicht von Seesedi- menten – Arch. f. Hydrobiol./Suppl. 38, 353–398
- Tomlinson, T.E. (1971): Nutrient losses from agricul- tural land – Outlook on agriculture 6, 272–278
- Vollenweider, R.A. (1968): Die wissenschaftlichen Grundlagen der Seen- und Flußeutrophierung, unter besonderer Berücksichtigung des Phosphors und des Stickstoffs als Eutrophierungsfaktoren – OECD Nr. DAS/CSI/68. 27
- Wiklander, L. (1970): Utlakning av näringsämnen I. Halten i dräneringsvatten – Grundförbättring 23, 117–141
- Wiklander, L. und G. Hallgren (1971): Utlakning av näringsämnen III. Vid Röbäcksdalen, Marsta, Gammalstorp, Heagård och Hoby – Grundförbätt- ring 24, 95–111